

VU Research Portal

Explorations into African Land Resource Ecology

Voortman, R.L.

2010

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Voortman, R. L. (2010). *Explorations into African Land Resource Ecology: On the chemistry between soils, plants and fertilizers*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Dutch summary

Samenvatting

Verkenningen naar de ecologie van natuurlijke hulpbronnen in Afrika *Over de chemie tussen bodems, planten en kunstmest*

In vergelijking met Azië, is het gebruik van kunstmest in de bevolkingslandbouw van Sub-Sahara Afrika gering: gemiddeld slechts 10 kg per hectare. Dit is merkwaardig gezien de huidige behoefte aan voldoende voedsel van goede kwaliteit. Een behoefte die in de komende jaren bovendien alleen maar zal toenemen. De vraag is dan ook gerechtvaardigd waarom boeren in Afrika niet de technologieën toepassen die in de Groene Revolutie van Azië zo succesvol zijn geweest. Dit proefschrift onderzoekt de oorzaken die dit fenomeen kunnen verklaren.

Probleemanalyse

Allereerst zijn verschillende opties onderzocht die mogelijkwerijs het gebruik van kunstmest in de weg staan. Deze zijn getoetst aan twee belangrijke vereisten voor een succesvol gebruik van kunstmest. Ten eerste moet de potentiële geschiktheid van klimaat en bodem groot genoeg zijn om een substantiële toename van gewasopbrengsten mogelijk te maken. Ten tweede moeten de aanbevolen kunstmestgiften met betrouwbaarheid leiden tot hogere gewasopbrengsten en financieel voordeel voor de boer. Op grond van literatuuronderzoek heeft een uitgebreide probleemanalyse plaatsgevonden, waarbij ook factoren als de bereidheid van boeren tot innovatie zijn betrokken. Enerzijds passeerden eigenschappen van bodem en klimaat de revue, anderzijds de doelmatigheid en effectiviteit van de aanbevolen kunstmestgiften. De bevindingen hebben geleid tot een voorlopige diagnose van de '*fertilizer problematique*'. Deze probleemanalyse leverde tevens de bouwstenen voor een strategie die kan leiden tot de noodzakelijke intensivering van de landbouw in Afrika.

Uit de probleemanalyse blijkt dat aan belangrijke voorwaarden voor het gebruik van kunstmest niet wordt voldaan: namelijk, betrouwbare meeropbrengsten en financieel voordeel voor de boer. In tegendeel, boeren die de reguliere adviezen opvolgen, halen in veel gevallen hun geld er niet meer uit. Dat is grotendeels te wijten aan de panterritoriale of 'blanket' kunstmestadviezen die veelal voor een land als geheel zijn gedefinieerd en bestaan uit hoge

doseringen van een beperkte keuze van nutriënten, vaak alleen stikstof en fosfaat. De geschiktheid van bodem en klimaat vormen in principe geen beperkende factoren voor succesvol gebruik van kunstmest, maar de diversiteit van bodems en hun ruimtelijke variabiliteit vereist dat kunstmestadviezen beter op specifieke omstandigheden worden afgestemd, niet alleen qua nutriëntensamenstelling, maar ook qua dosering. Dit kan betekenen dat op korte afstand verschillende kunstmesttypen en doseringen vereist zijn om op een efficiënte wijze de opbrengst te verhogen. Prijzen voor kunstmest zijn in Afrika veel hoger dan in Europa en daarom, alleen al vanuit het oogpunt van kostenbeheersing, moet met kleine hoeveelheden een hoog rendement worden bereikt.

Doelstellingen van het onderzoek

De ontwikkeling van de locatiespecifieke technologieën vereist een grondige kennis van de ruimtelijke variabiliteit van bodems ter plaatse en van hun bodemchemische eigenschappen. Doel van dit proefschrift is inzicht te verschaffen in de sleutelfactoren die de ecologische diversiteit van bodems als medium voor plantengroei bepalen. Het levert daarmee een bijdrage aan de kennisontwikkeling die nodig is om boeren beter te kunnen informeren over toe te passen kunstmestgiften. Gezien de voedselsituatie in Afrika, is er sprake van urgentie en daarom moeten nieuwe technologieën binnen een redelijk tijdsbestek en met beheersbare kosten worden ontwikkeld. Ook daarvoor ontwikkelt het proefschrift voorstellen.

Dit proefschrift analyseert de ecologische diversiteit van natuurlijke hulpbronnen in Afrika in relatie tot de bodemchemische eigenschappen die gewasopbrengsten op lokaal niveau bepalen. Daarbij zijn ook de ruimtelijke patronen van die diversiteit beschouwd. Deze onderzoeken dienen aspecten van fundamenteel wetenschappelijke aard, namelijk inzicht in de functionele verbanden tussen bodem, vegetatie en gewasgroei. Daarnaast dienen zij ook een toegepast wetenschappelijk doel, namelijk de ontwikkeling van een pragmatische, operationele strategie om het gebruik van kunstmest in Sub-Sahara Afrika te stimuleren.

Structuur van het proefschrift

Na de presentatie van onderzoeksdoelen in Hoofdstuk 1, levert de probleemanalyse van Hoofdstuk 2 een aantal potentiële verklaringen voor het achterblijvende gebruik van kunstmest. Deze veronderstellingen zijn te beschouwen als werkhypothese, die in de hoofdstukken 3-7 zijn onderzocht en getoetst aan de hand van een aantal specifieke onderzoeksvragen. Zoals te verwachten valt, geven de bevindingen aanleiding tot formulering van nieuwe vervolgvragen, die in de daarop volgende hoofdstukken worden beantwoord.

De ecologie van natuurlijke hulpbronnen in Afrika is in Hoofdstuk 3 beschouwd op continentale schaal. De populatiedichtheden van Afrika worden in verband gebracht met de aard van de milieuomstandigheden. Verder worden de eigenschappen van het natuurlijke milieu in Azië vergeleken met die van Afrika, met als doel een verklaring te vinden voor het al dan niet slagen van de technologie van de Groene Revolutie. Na deze beschouwing op continentale schaal, worden twee casestudies gepresenteerd, de eerste, in Niger (Hoofdstuk 4.5), op lokale schaal en de tweede, in Mozambique (Hoofdstuk 6), op regionale schaal. Beide zijn representatief voor grote gebieden in Afrika waar bevolkingslandbouw plaatsvindt. De bodemchemische eigenschappen worden gerelateerd aan gewasopbrengsten, landgebruik en vegetatie. Specifiek wordt daarbij eerst gekeken naar de macronutriënten N, P en K, die vaak als kunstmest worden aanbevolen. Daarna wordt geanalyseerd welke andere bodemchemische eigenschappen bijdragen aan het leveren van een verklaring.

De casestudy in Niger betreft ruimtelijk buitengewoon variabele dekzanden in de West-Afrikaanse Sahel waar opbrengsten van gierst worden gerelateerd aan bodemchemie. De casestudy in Mozambique betreft een gebied op Precambrisch Basement Complex, het type moedermateriaal waarmee grote gebieden van de Afrikaanse bevolkingslandbouw zijn

geassocieerd. In deze studie wordt aangetoond dat het mogelijk is op basis van visuele aspecten van het landschap – in het bijzonder vegetatie – (onzichtbare) bodemchemische eigenschappen te herkennen. Bovendien wordt aangetoond dat de plaatskeuze van boeren, zoals die tot uitdrukking komt in de dichtheid van landgebruik, valt te herleiden tot diezelfde bodemchemische eigenschappen. Kennelijk bestaat er onder boeren een impliciete ecologische kennis, welke kan worden ingezet om op redelijk snelle wijze locatiespecifieke kunstmesttechnologieën te ontwikkelen. Aan de hand van deze analyses wordt tegelijkertijd nagegaan welke bodemchemische eigenschappen een sleutelfunctie vervullen in de ecologie van bodems op Precambrijs Basement Complex. Op basis van de uitkomsten en na verdere literatuurstudie, zijn operationele mechanismen in het functioneren van ecosystemen geïdentificeerd die meer algemene geldigheid hebben (Hoofdstuk 7). Een reflectie op de bevindingen van de hoofdstukken 3-7 is gepresenteerd in Hoofdstuk 8.

Onderzoeksbenadering

In de beide casestudies is een vergelijkbare onderzoeksbenadering gevolgd: de combinatie van de studie van de topologische (verticale) en chorologische (horizontale) dimensies van landschapsecologie. Het proefschrift gaat dus in op de functionele relaties tussen de verschillende compartimenten van ecosystemen en ook op de ruimtelijke diversiteit van deze ecologische relaties. Deze benadering volgt daarmee het paradigma van de vergelijking van de factoren van de formatie van bodems en ecosystemen in de traditie van Dokuchaev en Jenny. De benadering is verder empirisch, waarbij in de analyse van gegevens geen *a priori's* worden opgelegd, om de data voor zichzelf te laten spreken. Vanwege de schaal van de studies, is de klimatologische variatie beperkt en daardoor worden de relaties tussen moedermateriaal, bodems en vegetatie benadrukt als factoren die de ecologische diversiteit bepalen. Gezien de focus op verbetering van kunstmesttechnologie, is een centrale rol gegeven aan bodemchemische eigenschappen en de wijze waarop die gerelateerd zijn aan plantengroei, volgens de principes van plantenvoeding en productie ecologie.

Beide casestudies gebruiken uitgebreide, gedetailleerde datasets van veldwaarnemingen en laboratoriumgegevens. Er zijn statistische technieken toegepast met bodemchemische eigenschappen als de onafhankelijke variabele. De afhankelijke variabele op dekzanden van Niger is de opbrengst van gierst, terwijl in Mozambique de dichtheid van cultivatie en natuurlijke vegetatie dat zijn.

Onderzoeksresultaten

Met behulp van de datasets uit Niger en Mozambique is onderzocht op welke wijze gewasopbrengst (Niger), dan wel cultivatiedichtheid en vegetatietypen (Mozambique) in verband staan met bodemeigenschappen. Centrale vraag daarbij is die naar de aard van mogelijke sleutelfactoren die ten grondslag (zouden kunnen) liggen aan de ecologische diversiteit van natuurlijke hulpbronnen in Sub-Sahara Afrika.

In eerste instantie is onderzocht welk verband er bestaat tussen voornoemde afhankelijke variabelen en de macronutriënten N, P en K, de componenten van de meest gangbare kunstmestaanbevelingen. In Niger kon maar een klein deel van de verschillen in opbrengst worden verklaard door deze macronutriënten, terwijl een test op ruimtelijke autocorrelatie aangaf dat er andere variabelen in het geding zouden zijn. In Mozambique gaven de waarden van de bovengrond een beperkte verklaring voor de dichtheid van cultivatie. Alleen een lineair verband met N en P kon worden vastgesteld en dat was positief voor N en onverwacht negatief voor P. De waarden van de ondergrond verklaarden de plaatskeuze van boeren beter dan die van de bovengrond en regressies benadrukten het belang van het N-gehalte in de bodem. Probleem hierbij is dat het N-gehalte in de bodem moet worden beschouwd als de resultante van het functioneren van het ecosysteem en dat het dus van belang is te begrijpen welke andere factoren ten grondslag liggen aan de mate van

N-accumulatie. Samenvattend kan gesteld worden dat de ecologie van de Afrikaanse natuurlijke hulpbronnen complexer is dan een rechtlijnig verband met N, P en K.

In tweede instantie is onderzocht welke bodemchemische karakteristieken de ecologische diversiteit beter verklaren dan macronutriënten N, P en K. In Niger blijken de totale uitwisselbare kationen en hun onderlinge verhoudingen, samen met Al- en Na-verzadiging (het 'exchange complex'), een groot deel van de gewasopbrengsten te verklaren, met acceptabele niveaus van ruimtelijke autocorrelatie. De toevoeging van N, P en K in de analyse gaf maar een zeer kleine verbetering van de verklaring van de opbrengsten. In Mozambique, wanneer N in de statistische analyse werd uitgesloten als verklarende variabele, bleken dezelfde variabelen van het 'exchange complex' het voorkomen van landgebruik en verschillende vegetatietypen te verklaren. Bovendien bleken hier de verhoudingen tussen de micronutriënten Fe, Cu, Zn, en de verhouding van P met deze micronutriënten vaak significant bij te dragen als verklarende variabelen. Deze verhoudingen en ook die van de uitwisselbare kationen, staan bekend als antagonismen in het proces van opname van nutriënten door planten. Beide casestudies hebben dus aangetoond dat eigenschappen van het 'exchange complex' de ecologische diversiteit van bodems beter verklaren dan gehalten aan de macronutriënten N, P en K. Deze bevindingen leiden tot de voorlopige conclusie dat deze factoren, samen met micronutriënten, kunnen worden beschouwd als de sleutelfactoren die de ecologische diversiteit en zijn ruimtelijke patronen in hoge mate bepalen.

De consistentie van bovenstaande bevindingen roept de vervolgvraag op in hoeverre deze veralgemeniseerd kunnen worden tot wetmatigheden met geldigheid voor grotere gebieden. Om daar een uitspraak over te kunnen doen is literatuuronderzoek verricht naar de ruimtelijke patronen van vegetatie, landgebruik en bodemchemie in grote gebieden van Zuid-Centraal Afrika (het Miombo biome), en naar het voorkomen van vergelijkbare functionele verbanden in zowel natuurlijke, als landbouwsystemen. De ruimtelijke verbanden die zijn vastgesteld in Mozambique blijken ook op te gaan elders in het Miombo biome en zelfs daarbuiten. Bij herhaling blijkt dat N en P vaak maar matig verklarende factoren zijn voor ruimtelijke patronen van verschillende vegetatietypen. Kationen en hun verhoudingen geven vaak een betere verklaring, terwijl – waar onderzocht – ook micronutriënten een rol van betekenis spelen. Deze bodemchemische eigenschappen blijken samen te hangen met moedermateriaal, dat wil zeggen, de mineralogische samenstelling van het substraat en niet de ontstaansgeschiedenis daarvan, bijvoorbeeld de vulkanische, sedimentaire of kristallijne aard. De bevindingen suggereren dus een natuurlijke orde die op basis van een samenhangend complex van eigenschappen kan worden gedefinieerd.

De relatie met de mineralogie van moedermateriaal was eerder al in de casestudy Mozambique, op Precambriisch Basement Complex, vastgesteld als verklarende factor voor diversiteit op korte afstand. Ook in de casestudy Niger is aannemelijk gemaakt dat de aard van de dekzanden de ecologische diversiteit in hoge mate bepaalt. Beide casestudies bevestigen een belangrijke uitkomst van de initiële probleemanalyse van dit proefschrift, namelijk dat de ruimtelijke variabiliteit van bodems in Afrika veel groter is dan vaak wordt aangenomen. Zelfs in bodems die de kenmerken dragen van een lange ontstaansgeschiedenis, zoals bodems die zijn ontwikkeld op een zogenaamd 'old age surface' (peneplain) in de casestudy Mozambique, is deze relatie nog steeds aanwezig en komt deze tot uitdrukking in de soortensamenstelling van de vegetatie.

De relevantie van de vastgestelde sleutelfactoren (kationen, hun onderlinge verhoudingen en micronutriënten) is nader onderzocht aan de hand van literatuur over het belang hiervan in landbouwproductiesystemen. Tevens is een verband gelegd met het voorkomen van mutualistische strategieën bij hogere planten om nutriënten op te nemen via mycorrhizae en biologische stikstoffixatie in de bodem. In landbouwliteratuur wordt al meer dan een

eeuw gediscussieerd over het effect van de verhoudingen van de kationen in de bodem op gewasopbrengsten. Er is overeenstemming over de potentiële versturende werking van ongunstige kationverhoudingen op plantenfysiologische processen. Opbrengsteffecten van kationverhoudingen zijn echter niet eenduidig en blijken mede af te hangen van het absolute niveau van deze kationen, van de textuur van de bodem en van het type gewas. Daarom is het onmogelijk een 'ideale bodem' uitsluitend te definiëren op basis van kationen. Er blijft kortom een aantal vragen onbeantwoord. Desondanks, kunstmestproeven in Malawi bevestigen de relevantie van de geïdentificeerde sleutelvariabelen: op bodems die vergelijkbaar zijn met de casestudy Mozambique, zijn deze direct van invloed op controleopbrengsten en beïnvloeden ze tevens de effectiviteit van kunstmestgiften.

Samenvattend kan gesteld worden dat interacties tussen de kationen en hun verhoudingen, in samenhang met micronutriënten, de sleutelfactoren zijn die de ecologische diversiteit van bodems en de ruimtelijke patronen van ecosystemen bepalen. Deze relaties tussen bodemchemische eigenschappen en de mechanismen in het functioneren van ecosystemen kunnen als 'unifying principles' (verbindende principes) geduid worden. De geobserveerde natuurlijke orde hangt samen met de mineralogie van het moedermateriaal van bodems, die in dit proefschrift wordt gezien als het sturende element achter de sleutelfactoren.

Innovatieve aspecten

De sleutelfactoren die zijn geïdentificeerd als bepalend voor ecologische diversiteit zijn onconventioneel te noemen. De onderzoeken zijn gebaseerd op omvangrijke, zeer complete gegevensbestanden, waarop statistische technieken zijn toegepast zonder dat daar *a priori* aannames aan zijn opgelegd. Dit heeft geleid tot de eerste aanzet voor een coherent analytisch raamwerk dat in conceptuele zin een verklaring geeft voor de gevonden verbanden tussen bodem, natuurlijke vegetatie, landgebruik en gewasgroei. Deze wetmatigheden zijn 'unifying principles' genoemd, mede omdat er aanwijzingen zijn dat kringlopen van nutriënten in boven- en ondergrondse compartimenten van ecosystemen hiermee verbonden zijn. Dit geldt zowel in natuurlijke als in landbouwsystemen.

Naast deze meer fundamentele bevindingen, was het ook mogelijk de haalbaarheid aan te tonen van een pragmatische aanpak om efficiënte kunstmesttechnologieën te ontwikkelen, gebruikmakend van lokale ecologische kennis en bio-indicatie. Hoewel niet per se innovatief, is de uitgebreide literatuurstudie tot ver buiten het Angelsaksische domein, inclusief zeer oude referenties, bijzonder te noemen.

Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

Helaas blijft empirisch onderzoek van natuurlijke hulpbronnen, (bodembkunde, agronomie, ecologie) vaak steken in versnipperde resultaten, waarbij de synthese van paradigma's en toetsbare hypothesen vaak ontbreekt. Voor de ontwikkeling van een verbindende theorie is een transdisciplinaire benadering nodig die een aantal conventionele vakgebieden omvat. Het ontwerp van onderzoek kan doelgerichter worden toegesneden op de beoogde toepassingen. Het is van belang veelomvattende gegevensbestanden in het veld te verzamelen en deze statistisch te exploreren, zonder daar van te voren een structuur aan op te leggen. Deze gegevensbestanden dienen verzameld en gerapporteerd te worden op een manier die onderlinge koppeling en uitwisseling mogelijk maakt. Daarom verdient het aanbeveling te werken volgens een standaardprotocol. Daarbij dienen bodemonsters te worden geanalyseerd voor alle elementen die van belang zijn voor plantenvoeding; niet alleen voor de bovengrond maar ook voor de ondergrond, vanwege de hogere diagnostische waarde. Bovendien is het aan te bevelen analyses uitsluitend uit te voeren op 'harde' gegevens die werkelijk gemeten zijn en niet op basis van bijvoorbeeld gemiddelden. Verder is het wenselijk bodemchemische gegevens aan te vullen met gegevens over de chemische samenstelling van gewassen in hun functionele onderdelen. Daarbij is het van groot belang de chemische

samenstelling van de kunstmest zelf ook te analyseren. Deze is gewoonlijk onvoldoende bekend.

Slotopmerking

Het proefschrift eindigt met de observatie dat men de toekomstige voedselvoorziening van Sub-Sahara Afrika met optimisme tegemoet kan zien. Ook in Afrika kunnen aanzienlijke opbrengstverhogingen gerealiseerd worden bij gebruik van kunstmest. Echter, gezien de ecologische diversiteit van de bodem als natuurlijke hulpbron, is het noodzakelijk technologieën te ontwikkelen die nauw aansluiten op de lokale bodemchemische eigenschappen. Dat is een kennisintensief traject dat veel fundamentele inzichten kan verschaffen. Dus, hoewel mogelijk, zal het realiseren van de potenties van de Afrikaanse landbouw nog een formidabele taak voor de toekomst zijn.